Aus der Abteilung Klinische Forschung der Orthopädischen
Klinik der Freien Universität Berlin

Leiter: Prof. Dr. H. Stoboy

Institut für Leistungsmedizin

Leiter: Prof. Dr. H. Mellerowicz

Vergleichende Untersuchungen zur Messung der PWC_{170}

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

F r a n z, Ingomar

aus Prerow

1973

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552709_0002

Aus der Abteilung Klinische Forschung der Orthopädischen
Klinik der Freien Universität Berlin

Leiter: Prof. Dr. H. Stoboy

Institut für Leistungsmedizin

Leiter: Prof. Dr. H. Mellerowicz

Vergleichende Untersuchungen zur Messung der PWC_{170}

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

F r a n z, Ingomar

aus Prerow

Referent: Professor Dr. S t o b o y

Korreferent: Professor Dr. M e l l e r o w i c z

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 2. 7. 1973

Vergleichende Untersuchungen zur Messung der PWC_{170}

1. Einleitung

2. Methodik
   - 2.1 Untersuchungsgut
   - 2.2. Vergleichende Untersuchungsmethodik
     - 2.2.1. Versuchsablauf
     - 2.2.2. Untersuchungsbedingungen
   - 2.3. Ergometrische Methodik
     - 2.3.1. Ergometer
     - 2.3.2. Leistungsumsatzbedingungen
   - 2.4. Methodik der Herzfrequenzmessung
     - 2.4.1. EKG-Gerät
     - 2.4.2. Aufzeichnung der Herzfrequenz
     - 2.4.3. Auswertung der EKG-Streifen
   - 2.5. Statistische Methodik

3. Fehlerquellen und Kritik der Methodik
   - 3.1. Kritik am Untersuchungsgut
   - 3.2. Kritik an den Untersuchungsbedingungen
   - 3.3. Kritik an den Untersuchungsgeräten und deren Handhabung

4. Untersuchungsergebnisse und vergleichende Darstellung der Untersuchungsergebnisse
5. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Literatur

1. Einleitung

Um über die körperliche Leistungsbreite eines Patienten etwas aussagen zu können, muß eine Untersuchungsmethode gefunden werden, die sowohl exakte Messungen als auch vergleichbare Ergebnisse gewährleistet. Hierfür ist das Ergometer geeignet, denn die vom Probanden erzielte Leistung kann exakt in Watt bzw. kpm/sec ausgedrückt werden.

Da die Linearität zwischen dem Verhalten der Herzschlagfrequenz und der stufenförmig ansteigenden ergometrischen Leistung bei Belastungen über 4o - 5o Watt (41) hinreichend gesichert (3,4,1o,3o) ist, muß es möglich sein, aus dem Verhalten der Herzschlagfrequenz bei ansteigender Leistung im submaximalen Bereich bereits Rückschlüsse auf die maximale aerobe Leistung zu ziehen.

Als geeignete Methode bietet sich infolgedessen die Bestimmung der PWC_{17o} an. Diese gibt diejenige Leistung in Watt an, die ein Proband auf einem Fahrradergometer bei einer Schlagfrequenz von 17o/min. leistet oder leisten würde.

Hauptaufgabe dieser Arbeit war es herauszufinden, ob die mit unterschiedlichen Leistungsstufen ermittelten PWC_{17o} eines Individuums und eines Untersuchungsgutes, bestehend aus einer größeren Zahl von Probanden, in ihren Ergebnissen übereinstimmen, oder ob und in welchem Maße sie differieren.

2. Methodik

2.1. Untersuchungsgut

Es wurden 35 männliche Patienten im Alter von 2o - 3o Jahren untersucht. Sie waren ausnahmslos untrainiert und gingen keiner regelmäßigen sportlichen Betätigung nach.

Nach einer gründlichen Allgemeinuntersuchung wurde der Blutdruck im Liegen, die Herzschlagfrequenz (HF) im Liegen (Ruhe) und die Vitalkapazität bestimmt.

Ebenfalls wurde der Hämoglobingehalt, die Erythrozyten- und Leukozytenzahl und die Blutkörperchen-Senkungsgeschwindigkeit des Blutes ermittelt und ein Peripheres Blutbild ausgezählt.

Der Urin wurde auf Sedimente, Eiweiß, Erythrozyten und Leukozyten untersucht. Darüber hinaus wurde ein Ruhe-EKG geschrieben.

Nur wenn die oben aufgeführten Untersuchungen keinen Anhalt auf ein pathologisches Geschehen gaben, wurde von den Probanden die PWC_{17o} ermittelt.

Patienten-Name, Alter, Gewicht, Größe, Ruhe-Blutdruck im Liegen, Ruhe-Herzfrequenz im Liegen und Vitalkapazität sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1

	Name	Alter in J.	Gewicht in kg	Größe in cm	Ruhe-Blutdruck in mmHg (RR)	Ruhe-Herzfrequenz im Liegen/min. (HF)	Vitalkapazität in ml (VK)
1	Kr.	24	58	173	12o/8o	54	45oo
2	Wi.	2o	88,5	191	13o/9o	75	6ooo
3	Zi.	27	58	171	13o/8o	78	36oo
4	Br.	24	93	186	12o/75	66	6ooo
5	Sch.	28	66	171	12o/85	64	42oo
6	G.	26	65	17o	11o/75	6o	42oo
7	P.	27	63,5	174	12o/8o	55	41oo
8	Mi.	24	66,5	185	125/85	78	47oo
9	Pr.	22	83	184	12o/8o	57	53oo
1o	Jo.	24	79	178	13o/8o	54	52oo
11	Dö.	28	8o,5	183	115/75	6o	51oo
12	Sch.	29	79	183	1o5/65	64	46oo
13	Ru.	26	8o	178	13o/9o	74	48oo
14	Gr.	28	77	181	12o/8o	54	47oo
15	Be.	29	8o	181	12o/8o	56	52oo
16	Be.	24	79	186	13o/85	72	53oo
17	Ca.	3o	7o	171	12o/8o	6o	5ooo
18	Te.	27	72	181	115/75	53	5ooo
19	He.	23	72	189	115/75	63	3ooo
2o	Mü.	26	7o	18o	125/75	78	56oo

Tab. 1

	Name	Alter in J.	Gewicht in kg	Größe in cm	Ruhe-Blutdruck in mmHg (RR)	Ruhe-Herzfrequenz im Liegen/min. (HF)	Vitalkapazität in ml (VK)
21	Kö.	26	68	178	12o/8o	73	42oo
22	Ur.	24	71	178	125/8o	76	38oo
23	Er.	21	69,5	176	12o/8o	7o	375o
24	St.	27	75	179	12o/8o	56	56oo
25	Vö.	24	73,5	18o	115/75	6o	51oo
26	Ra.	25	73	173	125/85	65	45oo
27	Te.	25	74	186	115/8o	52	42oo
28	Sch.	22	73,5	176	12o/8o	52	45oo
29	Pr.	27	76,5	175	125/8o	72	5ooo
3o	Pe.	28	74	176	13o/85	6o	37oo
31	Ra.	22	73	181	12o/8o	75	51oo
32	Ra.	23	74	178	12o/8o	7o	43oo
33	Wi.	25	73	174	12o/8o	6o	47oo
34	Hö.	28	76	186	12o/8o	6o	49oo
35	Pa.	22	74	177	11o/75	63	45oo

2.2. Vergleichende Untersuchungsmethodik

2.2.1. Versuchsablauf

Bei den Untersuchungen wurde stets Fußkurbelarbeit im Sitzen geleistet. Vor jedem Versuch wurde die Sitzhöhe kontrolliert und den Standardisierungsvorschlägen (2o) angepaßt.
Folgende drei ergometrische Methoden zur Bestimmung der PWC_{17o} wurden miteinander verglichen:

A. In der ersten Minute wurde die Wattzahl eingestellt, die etwa dem Körpergewicht in kg entsprach. Dann wurde die Leistung in Stufen von 1o Watt/min. gesteigert. In der 5o. - 6o. sec. wurde die Herzfrequenz mit Hilfe des EKGs registriert. Die Gesamtdauer des Versuchs betrug 6 Minuten.

B. Die Anfangsleistung betrug immer 75 Watt. Anschließend wurde für je 2 min. um 25 Watt gesteigert. Die Herzfrequenz wurde jeweils in der 5o. - 6o. sec. der 2., 4. und 6. Minute aufgezeichnet.

C. Bei dieser Methode wurde 3 Minuten lang mit 1 Watt/kg Körpergewicht begonnen. Die Leistung in weiteren 3 Minuten betrug die doppelte Wattzahl/kg Körpergewicht.

Bei allen drei Methoden wurde zwischen den einzelnen Belastungsstufen keine Pause eingelegt.

2.2.2. Untersuchungsbedingungen

Die Versuche wurden stets in der Zeit zwischen 11 h und 13 h durchgeführt.
Das Raumklima schwankte in folgenden Grenzen:

Raumtemperaturen: 2o° - 24°C
Relative Luftfeuchtigkeit: 42 - 6o %
Luftdruck: 773 - 778 mmHg

Vor den Untersuchungen ruhten die Probanden lo Minuten in entspannter Körperhaltung. Ihnen wurde die Bedeutung und der Ablauf der Versuche vorher eingehend erklärt.

2.3. Ergometrische Methodik

2.3.1. Ergometer

Die ergometrische Fußkurbelarbeit im Sitzen wurde drehzahlabhängig am Lauckner-Ergometer Typ L3 der Firma Richard Lauckner, Berlin-Mariendorf, ausgeführt.
Das verwendete Ergometer erfüllt die in dem "1. internationalen Vorschlag zur Standardisierung der Ergometrie" (22) enthaltenen Bedingungen:

"a) Art der Ergometerarbeit

Für ergometrische Messungen kann Fußkurbelarbeit im Sitzen und wahlweise Fußkurbelarbeit im Liegen oder Handkurbelarbeit im Stehen verwandt werden. Für diese drei verschiedenen Formen ergometrischer Arbeit sind in vergleichenden Untersuchungen Umrechnungswerte ermittelt worden."

"b) Kurbellänge

Als Standardkurbellänge wird eine doppelte Fußkurbellänge von 33,3 cm vorgeschlagen. Mit dieser Kurbellänge können die am häufigsten gewählten ergometrischen Leistungen von 3 - 3o mkp/sec. von kleinen, mittleren und großen Menschen mit relativ kleinen Unterschieden des

Wirkungsgrades geleistet werden.
Für spezielle Zwecke kann eine in ihrer Länge verstellbare Kurbel verwandt werden."

"c) Kurbelhöhe

Die Standardkurbelhöhe bei Handkurbelarbeit soll 1 m betragen. Bei Fußkurbelarbeit ist die Sitzhöhe so einzustellen, daß bei ausgestrecktem Bein der auf der Pedale aufliegende Fuß einen Winkel von 90° - 120° zum Unterschenkel (Tibia-Vorderkante) bildet."

d) Schwungmasse

Um eine möglichst gleichmäßige ergometrische Leistung zu gewährleisten, soll die Schwungmasse so groß wie möglich, aber so klein wie nötig sein, damit das Ergometer nicht zu schwer wird. Zur Standardisierung kann nach den derzeitigen Meßergebnissen und Erfahrungen vorgeschlagen werden (39): Eine Kreiszylinder-Schwungmasse gleichen Tiefendurchmessers aus Stahl, eines Gewichtes von 100 kp, eines Radius von 33,3 cm bei gleicher Drehzahl von Schwungmasse und Ergometerkurbel. "Es können auch Schwungmassen von kleinerem Radius und kleinerem Gewicht, aber entsprechend größerer Drehzahl mit gleicher kinetischer Energie gewählt werden."

"e) Drehzahlen

Für ergometrische Leistungen verschiedener Größe werden folgende Drehzahlen vorgeschlagen:

0 - 10 mkp/sec. 30 (25-35) Umdrehungen/min.
10 - 20 mkp/sec. 40 (35-45) Umdrehungen/min.
20 - 30 mkp/sec. 50 (45-55) Umdrehungen/min.
über 30 mkp/sec. 60 (55-65) Umdrehungen/min.

Es ist praktisch nicht möglich, für jede Person und jede Leistung die optimale Drehzahl zu wählen." Es erscheint zweckmäßig und praktisch ausreichend, bei den üblichen Leistungen von 3 - 3o mkp/sec. in einem mittleren Drehzahlbereich zu bleiben, wie er oben aufgeführt wurde.

"Solange die Drehzahloptima für Fußkurbelarbeit noch nicht genauer bekannt sind, sollen sie zunächst auch für diese Arbeitsform verwandt werden."

Die oben vorgeschlagenen Drehzahlen beziehen sich auf Handkurbelarbeit im Stehen. Vorversuche ergaben jedoch, daß es den Probanden bei Fußkurbelarbeit mit steigender Drehzahl besser gelang, die von ihnen geforderte Wattzahl exakt einzuhalten.

Das verwendete Ergometer ermöglichte die Leistung in drei verschiedenen Stufen. An der Eichkurve ergaben sich theoretisch dafür folgende Umdrehungen/min.:

	Stufe I (Drehzahl/min.)	II	III
7o Watt	4o,5	29,8	21
75 "	42,5	31,3	22
loo "	49,8	37	26,5
125 "	55,6	42,2	3o
15o	6o,7	46,5	33

Bei allen Versuchen wurde wegen der höheren, genauer einzuhaltenden Drehzahlen die Stufe I gewählt. D.h., die Versuchspersonen mußten für loo Watt 5o,o und für 15o Watt 6o,o Umdrehungen/min. ausführen.
Die Anzeige für die geleisteten Watt und die geleistete Drehzahl war für die Probanden gut sichtbar aufgebaut worden.

2.3.2. Leistungsumsatzbedingungen

a) Die Ernährung vor dem Untersuchungstag ist möglichst wenig zu ändern. Am Untersuchungstag ist für drei Stunden vor der Untersuchung eine kleine Mahlzeit mit geringer kcal-Menge erlaubt. (2 Schnitten mit Aufstrich und 1 Glas Getränk, z.B. Wasser, Fruchtsaft, Milch).

b) Am Vortag sind größere psychische und physische Beanspruchungen, am Untersuchungstag auch kleine körperliche sowie andere Beanspruchungen vor der Untersuchung zu vermeiden, weil sie den Leistungsumsatz bei ergometrischen Untersuchungen verändern können.

c) Bei der Untersuchung soll aus thermoregulatorischen Gründen nur eine kurze Hose getragen werden.

d) Alle Medikamente, auch Genußmittel wie Kaffee, Tee und Nikotin sind am Untersuchungstag, Medikamente mit länger anhaltender Wirkung auch bereits an den Vortagen zu vermeiden. Erforderliche Medikationen sind im Untersuchungsprotokoll zu vermerken.

2.4. Methodik der Herzfrequenzmessung

2.4.1. EKG-Gerät

Zur Messung der Herzfrequenz diente das EKG-Gerät Simpliscriptor EK-75 der Firma Hellige, Freiburg.
Die Papiergeschwindigkeit betrug 25 mm/sec. Vor jedem Versuchstag wurde der Vorschub kontrolliert.

2.4.2. Aufzeichnung der Herzfrequenz

Zur Ableitung wurden Plattenelektroden benutzt, die mit Hilfe eines Gummigurtes und Elektrodenpaste links parasternal befestigt wurden. Das Zeitintervall von lo Sekunden wurde jeweils am Ende der Meßminute durch zwei Eichzacken auf dem EKG-Streifen markiert.

2.4.3. Auswertung des EKG-Streifens

Zunächst wurden die Herzschläge ausgezählt, die innerhalb der 2 Eichzacken lagen (also innerhalb lo Sekunden). Dieser Wert mit 6 multipliziert ergab die Anzahl der Herzschläge/min. Nun mußten aber noch jene Strecken berücksichtigt werden , die zwischen der ersten Eichzacke und der ersten R-Zacke bzw. der letzten R-Zacke und der zweiten Eichzacke auftraten. Sie wurde addiert und mit dem mittleren Abstand zweier R-Zacken in mm in Beziehung gesetzt. War z.B. dieser mittlere Abstand (er ergab sich, indem dreimal der Abstand zweier R-Zacken innerhalb des lo-Sekundenintervalls mit Hilfe eines Millimetermaßes gemessen und dann gemittelt wurde) 12 mm auf dem EKG-Strei-

fen und die addierten Strecken auch 12 mm so folgte daraus, daß noch ein Herzschlag innerhalb des lo-Sekundenintervalls, also folglich 6 Herzschläge der ausgezählten Anzahl an Herzschlägen/min. hinzuaddiert werden mußten.
Dieses soll an einem anderen Beispiel verdeutlicht werden.

Beispiel:

a) Ausgezählte Anzahl von R-Zacken zwischen zwei Eichzacken (lo Sekunden Intervall) : 21

b) Bezogen auf 6o Sekunden ergibt sich:
21 x 6 . = 126 Herzschläge/min.

c) Mittlerer Abstand zweier R-Zacken innerhalb des lo-Sekundenintervalls : 12 mm

d) Strecke zwischen erster Eichzacke und erster R-Zacke: 5 mm
Strecke zwischen letzter R-Zacke und zweiter Eichzacke: 3 mm
Addition beider Strecken: 8 mm

e) Aus d) folgt, daß innerhalb des lo-Sekundenintervalls 8 mm des EKG-Streifens nicht berücksichtigt wurden. Bezieht man es auf 6o Sekunden also 48 mm (8 x 6).

f) Aus c) und e) folgt der Dreisatz

12 mm entsprechen 1 Herzschlag/min
48 mm entsprechen x

$$x = \frac{48}{12} = 4$$

g) Den in b) erwähnten 126 Herzschlägen/min. müssen nach f) 4 Herzschläge hinzugezählt werden.

h) Ermittelte Herzfrequenz folglich: 13o Herzschläge/min.

2.5. Statistische Methodik

Der statistischen Berechnung lagen folgende Formeln zugrunde (37):

a) Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}$$

b) Standardabweichung der Differenz zweier Mittelwerte S_D

$$S_D = \sqrt{\frac{s_1^2}{N_1-1} + \frac{s_2^2}{N_2-1}}$$

Eine Differenz ist nicht signifikant, wenn die Differenz der Vergleichsreihen kleiner als 2s ist. Man spricht von wahrscheinlich signifikant, wenn $2s_{Diff.} <$ Differenz $< 3s_{Diff.}$ und von sicher signifikant, wenn die Differenz $> 3s_{Diff.}$ ist. (9)

c) Da N klein war, wurde die Differenz der Durchschnitte der beiden Kollektive mit Hilfe der von Student eingeführten t-Verteilung geprüft.

$$t_r = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_D}$$

Die Differenz war bei einem α von $> 0{,}3$ nicht signifikant.

$\bar{x}$ = Mittelwert der Stichprobe
S = Standardabweichung der Stichprobe
S_D = Standardabweichung der Differenz zweier Mittelwerte
N = Zahl der Versuchspersonen in der Stichprobe
r = N - 1
α = Irrtumswahrscheinlichkeit

3. Fehlerquellen und Kritik der Methodik

3.1. Kritik am Untersuchungsgut

Allen Versuchspersonen wurden einige Tage vor den Versuchen die Leistungsumsatzbedingungen zugeschickt. Es wurde auf die Bedeutung und das exakte Einhalten dieser Forderungen hingewiesen. Eine Kontrolle konnte nicht erfolgen, aber doch eine Befragung am Untersuchungstag. Sämtliche Ergebnisse aller Versuchspersonen fanden in dieser Arbeit Berücksichtigung.

3.2. Kritik an den Untersuchungsbedingungen

Zwischen den einzelnen Versuchen wurde eine Mindesterholungszeit von dreißig Minuten eingehalten, nach deren Ende die Ruhefrequenz kontrolliert wurde.
Um eine etwaige Begünstigung irgendeiner Methode durch Gewöhnung auszuschließen, wurde die Reihenfolge der Versuche bei jeder Versuchsperson geändert (ABC, BCA, CAB, etc.).
Relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Temperatur im Untersuchungsraum wurden stets kontrolliert.

3.3. Kritik an den Untersuchungsgeräten und deren Handhabung

3.3.1. Ergometer

Das benutzte Ergometer war vor Beginn der Versuche von der Firma Lauckner geeicht worden. Eine Überprüfung der Eichkurve bestätigte die Exaktheit des Gerätes.
Da es für einen Probanden ökonomischer ist, wenn bei ansteigender Leistung auch die Drehzahl erhöht wird, wurde drehzahlabhängig gearbeitet.

Bei jeder Steigerung der Wattzahl mußte der Proband folglich die Drehzahl erhöhen, um die nächst höhere Stufe zu erreichen.

Die hierfür benötigte Anpassungszeit von wenigen Sekungen und die nicht loo %ige Einhaltung der Drehzahl während des vorgeschriebenen Zeitintervalls von einer, zwei, drei Minuten, beeinträchtigte das Ergebnis äußerst gering. Bei zehn Probanden wurde systematisch das Ergebnis eines mitgelaufenen Drehzahlmessers (er zeigte die Anzahl der tatsächlich erfolgten Umdrehungen/Zeit an) mit dem theoretisch ermittelten Wert verglichen. Es ergab sich als Mittel der Versuche A, B und C eine erhöhte Leistung von o,84 % über dem Soll. (siehe Tab. II)

3.3.2. EKG-Gerät

Um eine exakte Auswertung zu gewährleisten, wurde vor den Versuchen stets der Vorschub überprüft. Bei der Auswertung des EKG-Streifens erlaubte das einwandfreie Transportieren des Gerätes die Überprüfung des durch Eichzacken markierten Zeitintervalls von zehn Sekunden. Die Eichzacken mußten bei exakter Handhabung 25 cm auseinanderliegen. Bei abweichenden Werten wurden nur 25 cm von der ersten Eichzacke ausgehend zur Auswertung benutzt.
Das in 2.4.3. beschriebene Auswertungsschema und die oben beschriebene Korrektur ermöglichte eine äußerst genaue Ermittlung der Herzfrequenz, was gerade bei dieser Arbeit von größter Wichtigkeit war.

Tab. II

	Name	Sollwert (Umdrehung/6 min.)			Istwert (Umdrehung/6 min.)			Geleistete Mehrarbeit/6 min. (in % über Sollwert)
		A	B	C	A	B	C	
1.	Kr.	168,5	134,8	274,5	17o	134	276	o,28 %
2.	Sc.	131,5	184,6	117	136	181	12o	1,59 %
3.	Do.	193	295,8	132	194	297	133	o,55 %
4.	Sc.	193	24o,2	132	197	237	132	o,22 %
5.	Ru.	247,5	24o,2	132	252	246	13o	o,92 %
6.	Be.	3o4,2	24o,2	319,8	311	246	322	1,76 %
7.	He.	288	24o,2	297,6	29o	246	3oo	1,33 %
8.	Ph.	291	295,8	251	288	295,8	248,9	o,63 %
9.	Sc.	288	295,8	248,9	292	3oo	245	o,41 %
1o.	Vö.	181,3	24o,2	3o9,6	181	244	311	o,73 %

Die geleistete Mehrarbeit/6 min. lag für die oben aufgeführten Probanden im Durchschnitt unter 1 % über dem Sollwert.

4. Untersuchungsergebnisse und vergleichende Darstellung der Untersuchungsergebnisse

4.1. Tab. III a enthält die für die entsprechende Wattzahl gemessene Herzfrequenz der Versuche A, die Tab. III b für die Methode B und Tab. III c für die Methode C.

4.2. Abb. I zeigt das verwendete Diagramm und die Ermittlung der PWC_{17o} für die Methoden A, B und C bei einem Probanden mit sehr geringer Abweichung im Ergebnis der drei Methoden. Auf der Ordinate ist die Herzschlagfrequenz /min. und auf der Abszisse die Leistung in Watt aufgetragen. Bei der HF 17o ist eine Parallele zur Abszisse eingezeichnet, deren Schnittpunkt mit der durch die ermittelten Meßdaten gelegten Gerade die PWC_{17o} angibt.

4.3. Abb. II zeigt das gleiche wie Abb. I für einen Probanden mit einer maximalen Differenz der durch die drei Methoden ermittelten PWC_{17o} von 8 Watt, die ungefähr der gemittelten maximalen Differenz aus 35 Probanden entspricht.

4.4. Abb. III stellt die PWC_{17o}-Geraden aller Untersuchungspersonen in einem Diagramm dar. Bei Methode A wurden jeweils für 8o, 9o, loo, llo und 12o Watt die entsprechenden Herzfrequenzen addiert und durch 35 (Zahl der Probanden) geteilt. Da nicht alle 35 Probanden wegen des unterschiedlichen Körpergewichts die Versuche bei 7o Watt begannen, wurde erst für 8o Watt der entsprechende Wert ermittelt. Bei Methode B wurde genauso für 75, loo und 125 Watt verfahren. Bei Methode C wurden wegen der durch das Körpergewicht bedingten

verschiedenen Belastungen nur die Mittelwerte für 7o Watt (7 Personen), 75 Watt (13 Personen), 8o Watt (8 Personen), 14o Watt (7 Personen), 15o Watt (13 Personen) und 16o Watt (8 Personen) verwendet.

4.5. Tab. IV gibt die PWC_{17o} (Mittelwert von A, B und C), die maximale Differenz der PWC_{17o} der drei Methoden in Watt sowie in Prozenten für jede einzelne Versuchsperson aufgeschlüsselt an. Ebenfalls den hieraus ermittelten Durchschnitt ($\bar{x}$) aller 35 Probanden.

4.6. Abb. IV erläutert, wie oft die maximale Differenz der PWC_{17o} aller 3 Methoden im Bereich von o-5, 5-1o, 1o-15, 15-2o, 2o-25 Watt bei den 35 Probanden zu finden war.
Auf der Abszisse ist die maximale Differenz für die Bereiche von o-5, 5-1o, 1o-15, 15-2o, 2o-25 Watt aufgetragen. Die Ordinate gibt die Häufigkeit der ermittelten maximalen Differenzen bei 35 Probanden an.

4.7. Abb. V zeigt das gleiche wie Abb. IV, nur daß jede maximale Differenz in Watt einzeln und nicht in Kollektiven wie o-5, 5-1o Watt u.s.w. dargestellt ist.

Tab.3a

Name	65	70	80	90	100	110	120	130	140	Watt
1.Be.			119,5	116	125	126,5	136,5	136,5		Herzschläge/min.
2.Vö.		106,5	110	114	115,5	126	125			
3.Be.			107	109,5	117	118	126	129		
4.Ra.		113	126	124	132	137,5	141,5			
5.Te.		104,5	121	129,5	138	142	144			
6.Ko.		126,5	128,5	133	137	143	148,5			
7.Ru.			130	137,5	142,5	149,5	157,5	165		
8.Ur.		127	127	130	132,5	142	143,5			
9.Sc.		111	113	113,5	120	123	126,5			
10.Mü.		107	114	115,5	123	128	133,5			
11.He.		115,5	117,5	128	135	144	152			
12.Ra.		121,5	122	125	126	134	137			
13.Wi.		111,5	114	121	127,5	135,5	139,5			
14.Hö.			124	131	133,5	141	149	152		
15.Pa.		113,5	115,5	125,5	128,5	140	146,5			
16.Zi.		139,5	146,5	156,5	164	176,5				
17.Pr.			111	116,5	120,5	125	129	132		
18.Kr.		119	124,5	132	140	144				
19.Er.		106	109	114,5	119	126	131,5			
20.Sc.		108	113	115	121	127	134			
21.Gr.			105	113,5	117,5	122	1205	129		
22.St.			109,5	119	123,5	128	133	142,5		

Tab. 3 a

Name	65	70	80	90	100	110	120	130	140	Watt
23.Mi.		137	148,5	160,5	166,5	181	185			Herzschläge/min.
24.Te.			96	112	116,5	120,5	130	136		
25.Dö.			121	124,5	128,5	131,5	137	144		
26.Pr.			126	140	145	155	163,5	171,5		
27.Te.		130,5	134	135,5	150,5	154	167			
28.Ra.		114,5	123	130,5	134	141	148,5			
29.Pr.		100	105	112	122,5	126,5	136			
30.Ca.		111,5	120	12o,5	128	137	146,5			
31.Sc.		111,5	112,5	113,5	123,5	125,5	136			
32.Jo.			104	117	122	127	136			
33.Ga.		103,5	110,5	109,5	114,5	122,5	134,5			
34.Br.				124,5	129	137	144,5	145,5	148	
35.Wi.				116	122,5	129	132,5	139	148	

Tab.3b

Name	75	100	125	Watt
1.Be.	112,5	122,5	137,5	Herzschläge/min.
2.Vö.	111	111,5	131,5	
3.Be.	107	114	125	
4.Ra.	113,5	124,5	139	
5.Te.	110	127	145,5	
6.Ko.	125,5	136	150	
7.Ru.	135	149	163,5	
8ÜUr.	122,5	131	144,5	
9.Sc.	107	114	122	
10.Mü.	110,5	121,5	133,5	
11.He.	119	134	149,5	
12.Ra.	114	132	136,5	
13.Wi.	111	122	141	
14.Hö.	129	142,5	156	
15.Pa.	110	126,5	143	
16.Zi.	136,5	161,5	184,5	
17.Pr.	1o8,5	117,5	130	
18.Kr.	115	133,5	150,5	
19.Er.	115,5	129,5	142,5	
20.Sc.	112	123	132	
21.Gr.	108	114	126,5	
22.St.	108,5	115	128	

Tab.3 b

Name	75	100	125	Watt
23.Mi.	151,5	174	193,5	Herzschläge/min.
24.Te.	90,5	105	127	
25.Dö.	119,5	134	148,5	
26.Pr.	136	155	175	
27.Te.	125,5	145,5	167	
28.Ra.	114,5	127,5	143	
29.Pr.	100,5	110,5	133	
30.Ca.	110,5	126	143	
31.SC.	111,5	124,5	141,5	
32.Jo.	102,5	115,5	133,5	
33.Ga.	99,5	113	128,5	
34.Br.	116	126,5	137,5	
35.Wi.	115	129,5	137,5	

Tab.3c

Name	65	70	75	80	90	130	140	150	160	180	Watt
1.Be.				121,5					156,5		Herzschläge/min.
2.Vö.			109					133,5			
3.Be.				106					139,5		
4.Ra.			110					153,5			
5.Te.			104					164			
6.Ko.		121					157,5				
7.Ru.				129,5					176		
8.Ur.											
9.Sc.				103,5					134		
10.Mü.		110,5					144,5				
11.He.		113					158,5				
12.Ra.			117,5					153,5			
13.Wi.			112					155			
14.Hö.			127					170			
15.Pa.			117,5					160			
16.Zi.	132					180,5					
17.Pr.				112					144		
18.Kr.	105,5					146,5					
19.Er.		103,5					141,5				
20.Sc.			108					149			
21.Gr.				114,5					142		
22.St.			109					139,5			

Tab.3.c

Name	65	70	75	80	90	130	140	150	160	180	Watt
23.Mi.	128,5					184					Herzschläge/min.
24.Te.		92					132				
25.Dö.				124,5					164,5		
26.Pr.			145					185			
27.TE.			127,5					178,5			
28.Ra.			119,5					160,5			
29.Pr.	98,5					140					
30.Ca.		104					148				
31.Sc.	110					143					
32.Jo.				120,5					161		
33.Ga.	92					130					
34.Br.					124					160	
35.Wi.					124,5					165,5	

Abb. I

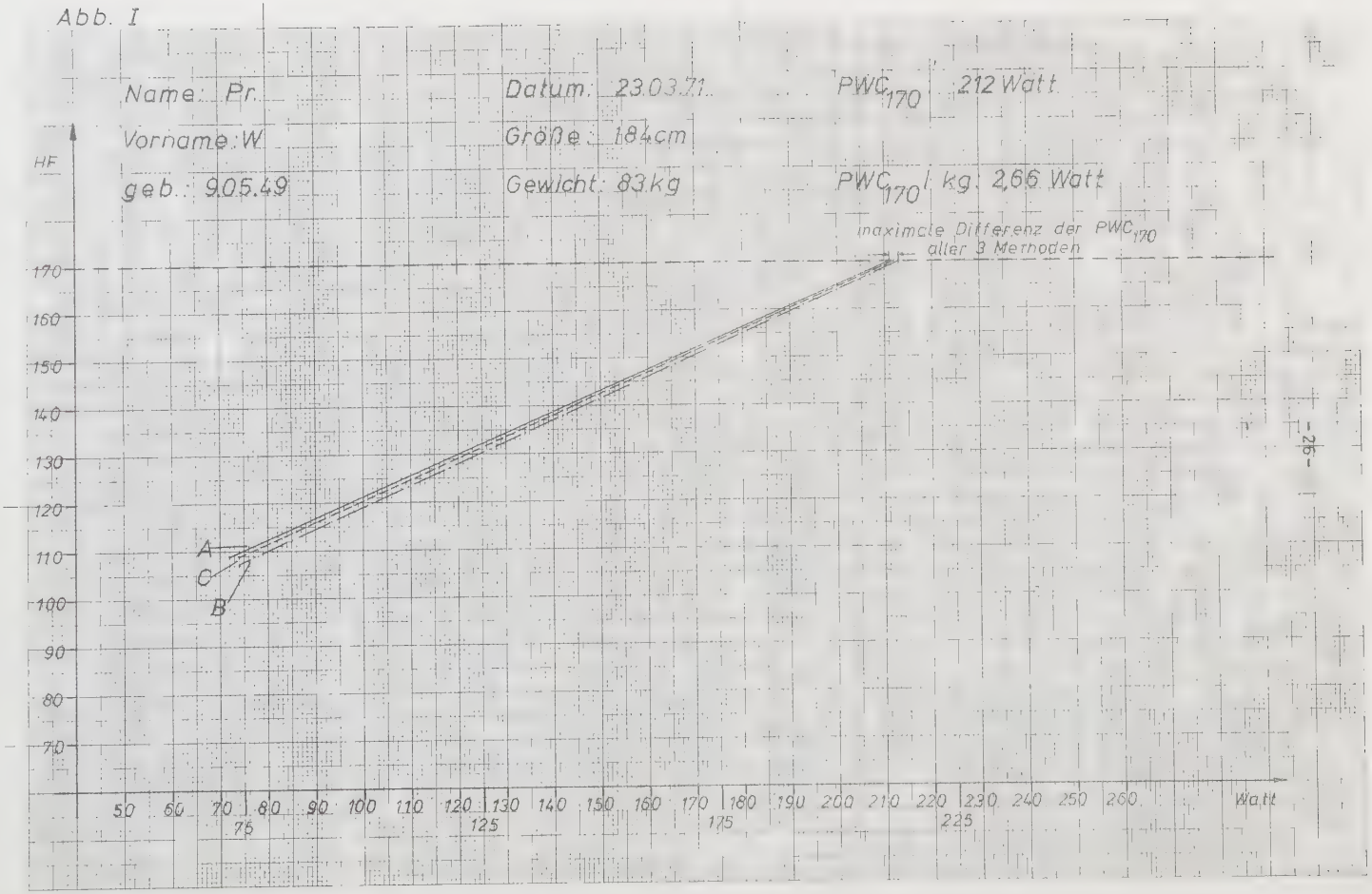

Name: Pr.
Vorname: W
geb.: 9.05.49
Datum: 23.03.71
Größe: 184 cm
Gewicht: 83 kg
PWC170 212 Watt
PWC170 l kg 2,66 Watt
maximale Differenz der PWC170 aller 3 Methoden
HF
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
A
C
B
50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 Watt
75
125
175
225

Abb. II

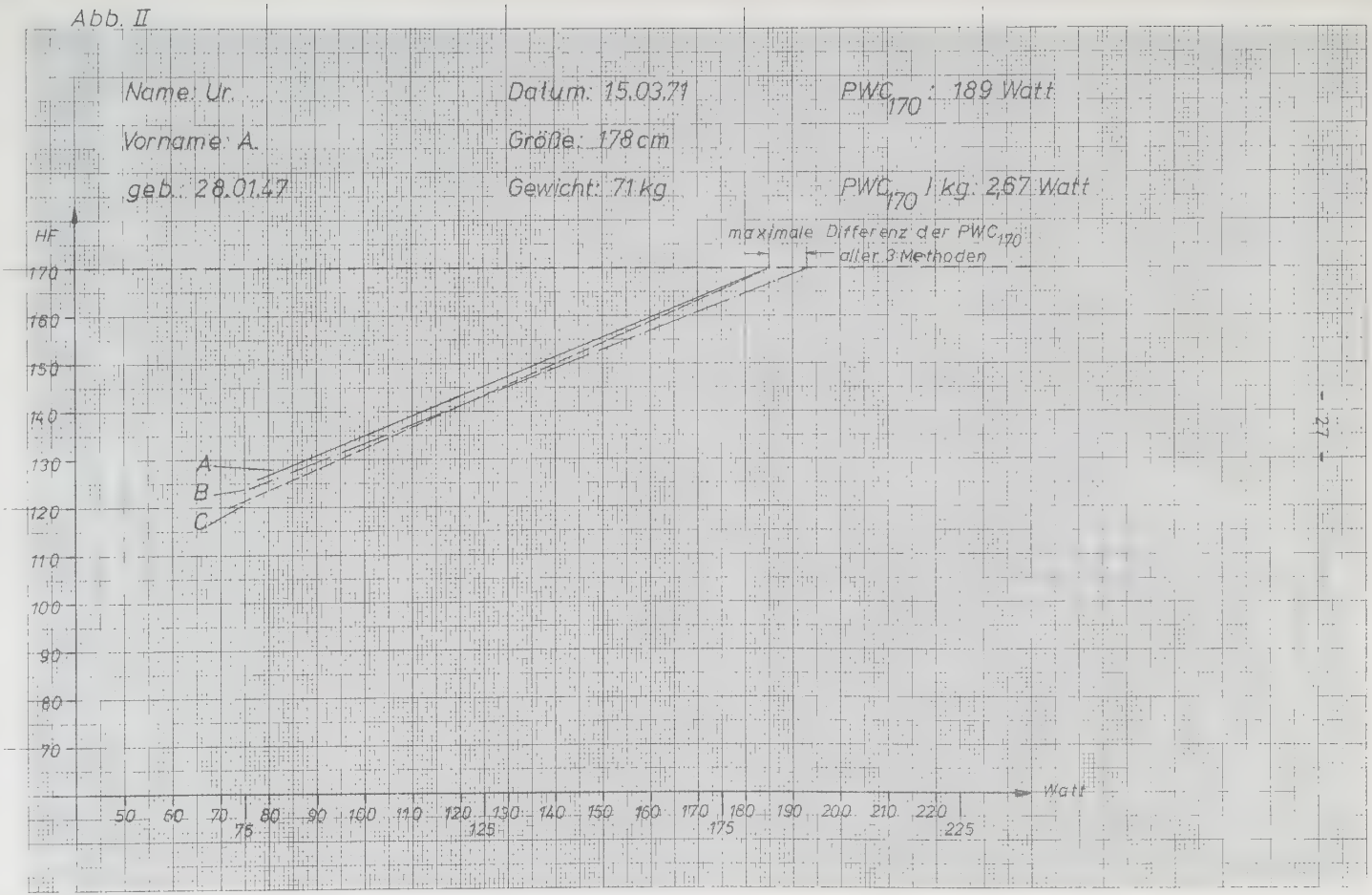

Name: Ur.
Vorname: A.
geb.: 28.01.47
Datum: 15.03.71
Größe: 178 cm
Gewicht: 71 kg
PWC170: 189 Watt
PWC170 / kg: 2,67 Watt
maximale Differenz der PWC170 aller 3 Methoden
HF
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
A
B
C
50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220
75 125 175 225
Watt
- 27 -

Abb. III

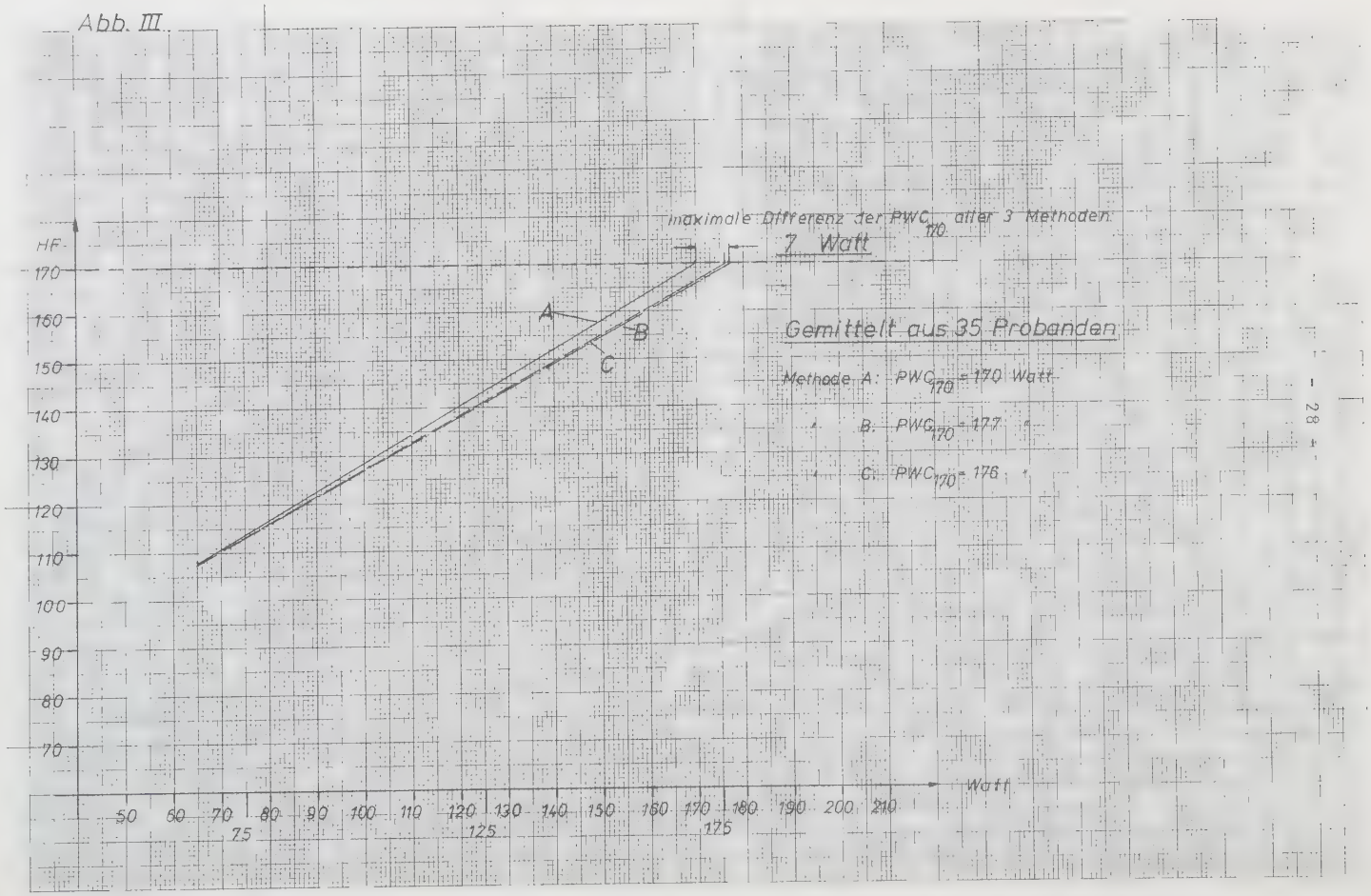

maximale Differenz der PWC170 aller 3 Methoden:
7 Watt
Gemittelt aus 35 Probanden
Methode A: PWC170 = 170 Watt
" B: PWC170 = 177 "
" C: PWC170 = 176 "
A
B
C
HF
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210
Watt
75
125
175

Abb. IV

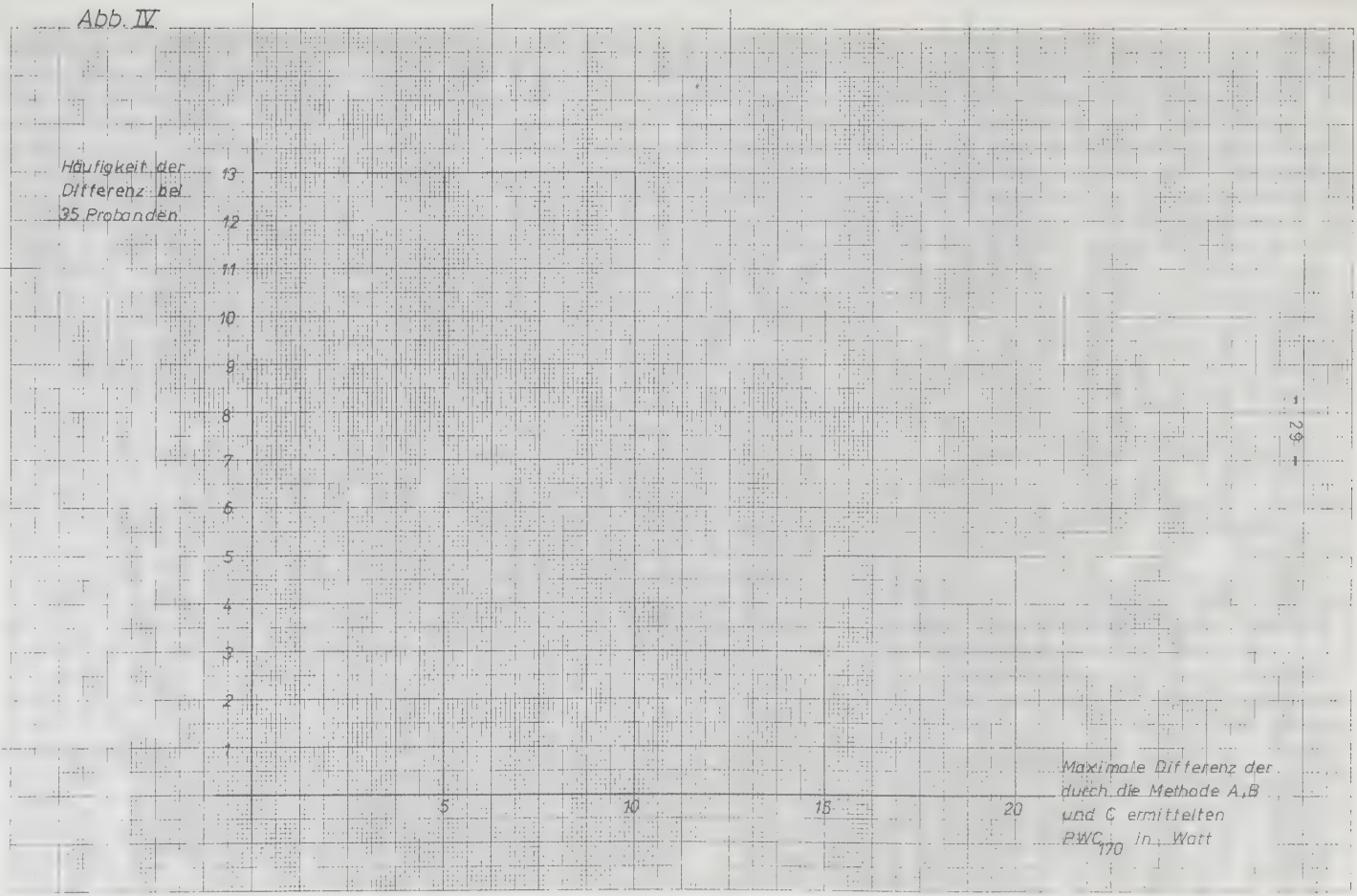
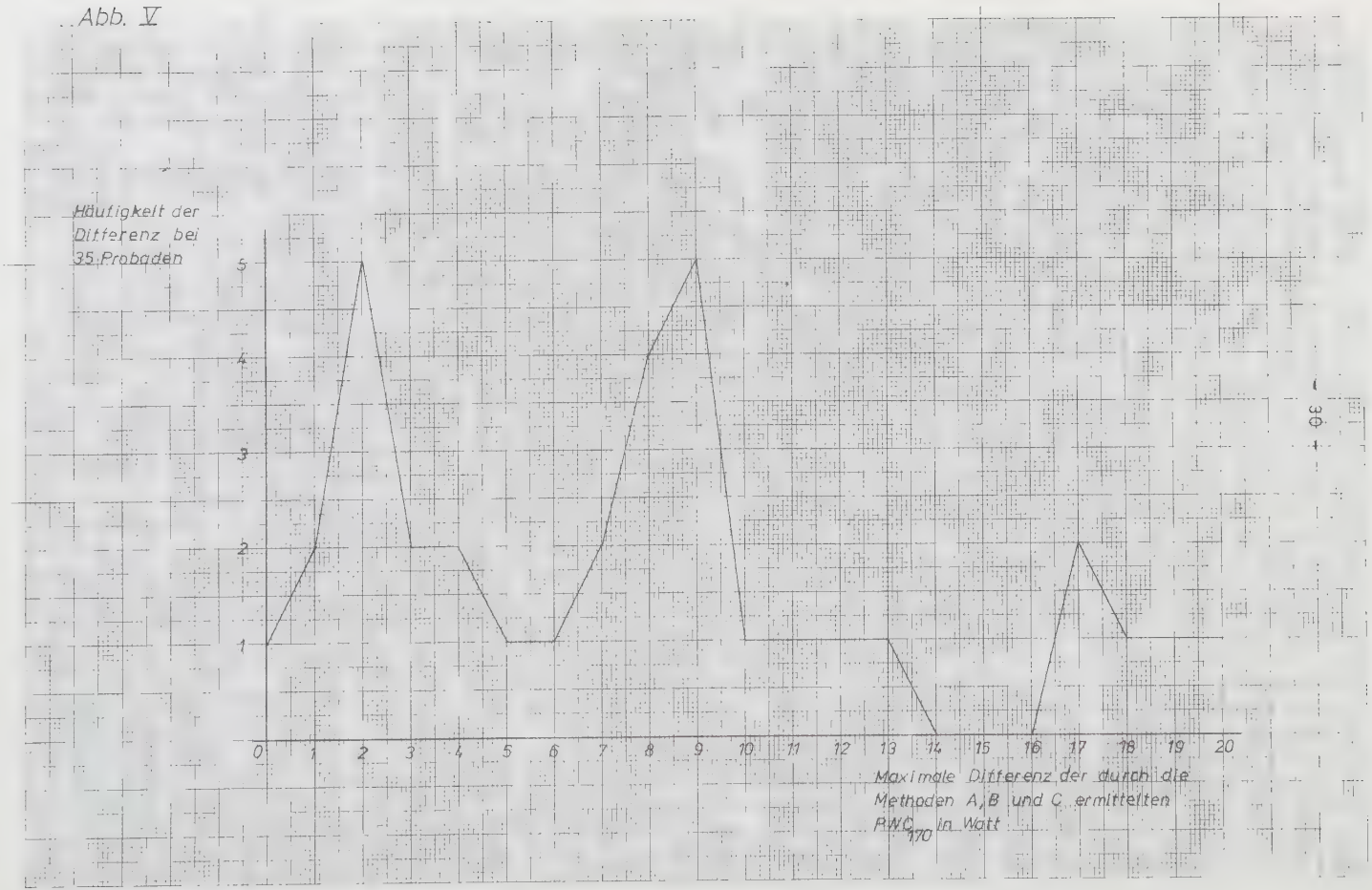

Häufigkeit der Differenz bei 35 Probanden
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
5
10
15
20
Maximale Differenz der durch die Methode A, B und C ermittelten PWC170 in Watt

Abb. V


Häufigkeit der Differenz bei 35 Probanden
1
2
3
4
5
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Maximale Differenz der durch die Methoden A, B und C ermittelten PWC 170 in Watt

Tab. IV

Name	PWC_{17o} (in Watt)	Max. Differenz der PWC_{17o} zwischen den einzelnen Methoden (in Watt)	Max. Differenz der PWC_{17o} zwischen den einzelnen Methoden (in Prozenten)
Ra.	187	4	2,12
Pa.	166	o	o
Kr.	154	3	1,95
Hö.	153	5	3,26
Wi.	191	2	1,o5
Ga.	196	1	o,6
Br.	2o4	3	1,25
Pr.	221	1	o,45
Zi.	1o8	2	1,85
Kö.	165	2	1,21
We.	19o	2	1,o5
Te.	156	4	2,56
Ur.	189	8	4,23
Sc.	261	8	3,o6
Mü.	197	9	4,56
He.	154	7	4,55
Vö.	21o	9	4,28
Te.	2o1	9	4,46
Dö.	167	6	3,59
Pr.	123	8	6,5
Te.	133	8	6,o
Ra.	169	9	5,32
Pr.	18o	9	5,o
Jo.	182	7	3,84
Wi.	175	2	1,14
Ca.	171	11	6,45
Sc.	18o	1o	5,55
Ra.	179	12	6,71
Ru.	144	13	9,o4

Er.	184	17	9,25
Be.	238	17	7,17
Mi.	1o5	18	17,1o
Gr.	23o	19	8,26
Sc.	199	2o	1o,5
St.	219	26	11,85
		291	165,o4

$\bar{x}$ der maximalen Differenz der PWC_{17o} aller 35 Probanden in Watt bei 35 Probanden: 8,32

$\bar{x}$ der maximalen Differenz der PWC_{17o} aller 35 Probanden in Prozent: 4,72

5. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

5.1. Bei 35 Personen wurde dreimal mit verschiedenen Untersuchungsmethoden die Physical Working Capacity$_{170}$ ermittelt. Bei der Methode A ergab sich eine PWC$_{170}$ von 170 Watt, bei Methode B eine PWC$_{170}$ von 177 Watt und bei Methode C eine PWC$_{170}$ von 170 Watt. Es ergab sich also im Durchschnitt eine maximale Differenz für die PWC$_{170}$ der einzelnen Methoden von nur 7 Watt bzw. 8,32 Watt (statistisch nicht signifikant bei einem α von $> 0{,}3$). Das ist bei einer aus 35 Personen gemittelten PWC$_{170}$ aller 3 Methoden von 173,5 Watt ein Unterschied im Ergebnis von nur 4,03 % bzw. 4,72 %. Die maximale Differenz der einzelnen Methoden wurde aufgrund zweier verschiedener Wege ermittelt. Zunächst wurde wie in 4.4. beschrieben verfahren. Hieraus ergab sich eine maximale Differenz von 7 Watt bzw. 4,03 %.
Der zweite Wert von 8,32 Watt bzw. 4,72 % erklärt sich aus der Tabelle IV (4.5.), denn die darin enthaltenen max. Differenzen wurden aus dem für jeden einzelnen Probanden angefertigten PWC$_{170}$-Diagramm entnommen, addiert und durch die Anzahl der Untersuchten geteilt. Die Differenz zwischen dem mathematisch ermittelten Wert von 7 Watt und dem zeichentechnisch ermittelten Wert von 8,32 ergibt sich zwangsläufig aus der Tatsache, daß bei der ersten Methode nur ein PWC$_{170}$-Diagramm gezeichnet wurde, bei der zweiten Methode jedoch fünfunddreißig PWC$_{170}$-Diagramme angefertigt werden mußten.
Die geringe Abweichung von 1,32 Watt bestätigt aber nur das Gesamtergebnis dieser Arbeit.

5.2. Alle drei Methoden führten also nahezu zum gleichen Ergebnis. D.h. sie ergaben nahezu die

gleiche PWC_{170}. Demnach war die PWC_{170} innerhalb der 6-minütigen Untersuchungsdauer relativ unabhängig von der Dauer und der Wattzahl der Belastung; ganz gleich ob die Steigerungsstufen 1o Watt/min., 25 Watt/2 min. oder 1 Watt/kg Körpergewicht/3 min. betrugen. Dieses galt sowohl für eine relativ hohe PWC_{170} von 261 Watt (höchster ermittelter Wert), als auch für eine niedrige PWC_{170} von 1o8 Watt (niedrigster ermittelter Wert).
An dieser Stelle sei die Diskussion über die erforderliche Dauer der Belastungsstufen, die nötig ist, eine der Leistung entsprechend adäquate Herzfrequenz zu gewinnen, aufgenommen. Die nötige Zeit zur Stabilisierung der HF gibt Seliger (3O) bei niedrigen Belastungen (5o - 6o Watt) mit zwei Minuten, bei höheren Belastungen (1oo - 15o Watt) mit drei bis fünf Minuten an. Aldermann (44) entscheidet sich für vier Minuten. Andere Autoren empfehlen und benutzen sechsminütige Belastungsstufen (3,32,25). Hieraus ergibt sich aber der Nachteil eines relativ großen zeitlichen Aufwandes, denn zur Bestimmung der PWC_{170} sind mehrere Belastungsstufen und dazwischenliegende Pausen nötig.
Aus diesem Grunde schlägt Placheta (43) vor, jeweils nur mit zwei Belastungsstufen zu arbeiten, um diese Methode zur Bestimmung der PWC_{170} für die tägliche Routineuntersuchung praktikabel zu gestalten. Chintanaseri (42) verglich bei 3o Probanden die mit der Methode B (Steigerungsstufen von 25 Watt/2 min.) ermittelte PWC_{170} mit der PWC_{170}, die er mit sechsminütigen Belastungsstufen nach dem Vorschlag anderer Autoren (Wahlund, Astrand, Buchberger) gewonnen hatte. Es ergab sich eine nur geringfügige Differenz beider Methoden von 3,7 %.

5.3. Die Belastungen bei den Methoden A und B waren so gewählt, daß die nach 6 Minuten Leistung erreichten Herzfrequenzen bei der Methode A im Durchschnitt 14o Herzschläge/min. und bei der Methode B 143 Herzschläge/min. betrugen, also im submximalen Bereich lagen und Herzfrequenzen von 17o Herzschlägen/min. nicht erreicht wurden.

Zur Ermittlung der PWC_{17o} mußte also eine Gerade durch die sechs bzw. drei Punkte im Koordinatensystem gelegt werden, deren Schnittpunkt mit einer Parallelen zur Abszisse bei 17o Herzschlägen/min. die PWC_{17o} in Watt ergab. Daß die Gerade in dem Bereich von 14o bis 17o Herzschlägen/min. weiterhin linear verläuft (d.h., daß es zulässig ist, aus dem Verhalten der Herzfrequenz bei geringer Belastung bereits Rückschlüsse auf die Belastbarkeit bei einer Herzfrequenz von 17o Herzschlägen/min. ziehen zu können), konnte bei einigen Versuchspersonen auch durch die Methode C nachgewiesen werden. Durch ihr großes Körpergewicht bedingt erreichten sie nach der 6. Minute tatsächlich Herzfrequenzen, die im Bereich von 17o Herzschlägen/min. lagen. Die entsprechend geleisteten Wattzahlen stimmten mit den theoretisch ermittelten PWC_{17o} überein.

5.4. Aus 5.2. und 5.3. folgt demnach, daß die PWC_{170} eine objektive Aussage über die aerobe Leistungsfähigkeit eines Probanden erlaubt. Die Herzfrequenz von 170 Herzschlägen/min. wurde als Bezugsgröße für die Ermittlung der Physical Working Capacity (körperliche Leistungsfähigkeit) gewählt, da nach Thorén (1968)(31) zwischen dem Herzvolumen und der PWC_{170} eine bessere Korrelation besteht als zwischen dem Herzvolumen und der PWC_{150}, PWC_{160} oder PWC_{180}.
Außerdem fand Astrand (35) eine Beziehung zwischen PWC_{170} und dem maximalen Schlagvolumen. Ferner besteht nach Holmgren (1960)(10) eine feste Korrelation zwischen PWC_{170} und dem maximalen O_2-Verbrauch.
Für die Ermittlung der maximalen O_2-Aufnahme aus der Herzfrequenz nach dem Nomogramm von Astrand (nomogram for calculation of maximal oxygen uptake from submaximal pulse rate), bietetsich ebenfalls die Herzfrequenz von 170 Herzschlägen /min. an, denn es gibt für diese Herzfrequenz einen Korrekturfaktor, der die vorausgesagte maximale O_2-Aufnahme der wirklich gemessenen O_2-Aufnahme näherkommen läßt.
Die Herzfrequenz von 170 Herzschlägen/min. scheint somit die geeigneteste Größe zu sein, auch wenn die maximale Herzfrequenz altersabhängig ist und bei 20 - 30jährigen Probanden über 170 Herzschlägen/min. (n. Astrand 195) und bei älteren Personen (nach Astrand bei 65jährigen um 165) unter 170 Herzschlägen/min. liegt und somit bei dieser Gruppe die PWC_{170} eine theoretische Größe ist.

5.5. Für alle drei Methoden spricht der relativ geringe apparative Aufwand, der bei der Untersuchung betrieben werden muß und die kurze Untersuchungsdauer von 6 Minuten, zumal Chintanaseri nachweisen konnte, daß die mit sechsminütigen Belastungsstufen

gewonnene PWC_{170} nur um 3,7 % von der durch Methode B ermittelten PWC_{170} differierte.

5.6. Wegen der kleinen Steigerungsstufen empfiehlt sich A als geeigneteste Methode, denn durch die Ermittlung der Herzfrequenz mit Hilfe des EKGs nach jeder Minute kann bei einem herzgeschädigten Patienten der Versuch sofort abgebrochen werden, wenn die Herzfrequenz einen kritischen Wert erreichen sollte oder pathologische EKG-Veränderungen auftreten. Außerdem läßt sich die PWC_{170}-Gerade mit Hilfe von 6 Meßwerten exakter in das Diagramm einzeichnen als mit Hilfe von 3 bzw. 2 Meßwerten. Allerdings konnte Placheta (43) zeigen, daß die mit Hilfe einer durch drei Punkte gezogenen Geraden graphisch ermittelte PWC_{170}, die ja subjektiven Erwägungen unterliegt, sich nur äußerst gering von der mathematisch mit Hilfe der idealen Regressionsgeraden ermittelten PWC_{170} unterscheidet.
Für die Methode ß spricht allerdings, daß häufig nur ein Ergometer zur Verfügung steht, das Steigerungsstufen von 25 Watt zuläßt.

5.7. Da die PWC_{170} den Untersucher schnell und objektiv über die aerobe Leistungsfähigkeit des Patienten unterrichtet, ohne daß man ihn maximal belasten muß, eignet sich diese Bestimmung der PWC_{170} als internistische Untersuchungsmethode in Klinik und Praxis. Dieses gilt sowohl für eine erste orientierende Untersuchung, als auch für die Kontrolle einer eingeleiteten Therapie bzw. Rehabilitation und macht den Untersucher unabhängig von der subjektiven Aussage des Patienten. Allerdings sollten hier die Anfangsbelastungen niedriger gewählt werden als in Methode A und B angegeben wurde.

6. Zusammenfassung

6.1. Es wurde an 35 männlichen untrainierten Personen die PWC_{17o} mit unterschiedlicher Methodik bestimmt.

Methode A: Stufen lo Watt/min.
1. Minute Belastung mit der Wattzahl, die im Bereich des Körpergewichtes liegt. Dann Steigerungsstufen von lo Watt/min. Gesamtdauer 6 Minuten.

Methode B: Stufen 25 Watt/ 2 min.
1. und 2. Minute 75, 3. und 4.Minute loo, 5. und 6. Minute 125 Watt.

Methode C: Stufen 1 Watt/kg/ 3 min.
1. - 3. Minute 1 Watt/kg/Körpergewicht.
4. - 6. Minute 2 Watt/kg/Körpergewicht.

Zwischen den Belastungsstufen wurden keine Pausen eingelegt. Die Herzfrequenz wurde in der 5o. - 6o. Sekunde der zu messenden Minute mit Hilfe des EKG's aufgezeichnet. Die Belastungen waren so gewählt, daß bei Methode A 14o Herzschläge/min. und bei Methode B 143 Herzschläge/min. erreicht wurden. Nur bei Methode C erreichten einige Probanden tatsächlich eine Herzfrequenz von 17o Herzschlägen/min. Die Gesamtdauer der Versuche zur Ermittlung der PWC_{17o} betrug bei allen drei Methoden 6 Minuten.

6.2. Die mit Hilfe der Methode A aus 35 Personen ermittelte PWC_{17o} war: 17o Watt
Methode B : 177 Watt
Methode C : 176 Watt

Es ergab sich also eine maximale Differenz von nur 7 Watt oder 4,o3 %. D.h., die PWC_{17o} war während der 6-minütigen Untersuchung relativ unabhängig von der Dauer und der Wattzahl der Belastung und stellt somit eine objektive Maßangabe für die aerobe Leistungsfähigkeit dar.

6.3. Bedeutung der Untersuchungsergebnisse

Eine ergometrische Untersuchungsmethode gewährleistet sowohl exakte Messungen als auch vergleichbare Ergebnisse. Somit eignet sich die Bestimmung der PWC_{170} als internistische Untersuchungsmethode in Klinik und Praxis, da sie den Untersucher schnell und objektiv und ohne großen apparativen Aufwand über die aerobe Leistungsfähigkeit des Patienten informiert. Die Zuverlässigkeit dieser Methode konnte in dieser Arbeit an fünfunddreißig Probanden nachgewiesen werden. Sie erlaubt bei submaximaler Belastung bereits Rückschlüsse auf die maximale Belastbarkeit.
Eine Gefährdung des Patienten ist nicht gegeben, da die Untersuchung sofort abgebrochen werden kann, falls kritische Herzfrequenzen oder pathologische EKG-Veränderungen auftreten sollten.

7. Literatur

(Titelabkürzungen nach Periodica Medica, G. Thieme-Verlag, Stuttgart, 1952)

1. Adams, F.H., Linde, L.M., Miyaka, H.: The physical working capacity of normal school children in California. Pediatrics 28, 55-64, (1961).

2. Areskog, N.H., Björk, L., Björk, V.O., Hallen, A. und Ström, G.: Physical work capacity, electrocardiogram reaction to work test and coronary angiogram in coronary disease. Acta med. scand. Suppl. 472, 9 (1967).

3. Astrand, P.O.: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen (1952).

4. Bengtsson, E.: The working capacity in normal children evaluated by submaximal exercice on the bicycle ergometer compared with adults. Acta med. scand. 154, 91-1o9, (1956)

5. Bink, B., Wafelbakker, F.: Physical working capacity at maximum levels of work of boys 12-18 years of age. Zschr. ärztl. Fortbild. 62, 957-961, (1968).

6. Butschenko, L.A.: Das Ruhe- und Belastungs-EKG bei Sportlern. Joh. Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, (1967).

7. Cumming, G.R., Cumming, P.M.: Working capacity of normal children tested on a bicycle ergometer. Canad. Med. Ass. Journ. 88, 351-355, (1963).

8. Dittmar, H.A.: Über Registrierfehler und technische Störungen bei der Aufzeichnung des Elektrokardiogramms. Materia med. Nordmark 2o, 68, (1968).

9. Freudenberg, K.: Grundriss der medizinischen Statistik. F.G. Schattauer Verlag, Stuttgart (1962).

1o. Holmgren, A., Mossfeld, F., Sjöstrand, T., Ström. G.: Effect of training on work capacity, total hemoglobin, blood volume, heart volume and pulse rate in recumbent and upright position. Acta physiol.scand.,5o, 72-83, (196o).

11. Howell, M.L., Macnab, R.B.J.: The physical work capacity of canadian children. Toronto, (1968).

12. Jungmann, H. und Knoop, G.: Über die Gewöhnung an Ergometeruntersuchungen. Sportarzt u. Sportmedizin, Köln 17, 287, (1966).

13. Kaltenbach, M.: Stufenbelastungen zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Koronarreserve. Dtsch.med.Wschr. 91, 884, (1966).

14. Knipping, H.W., Bolt, W., Valentin, H., Venrath, H.: Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken. F. Enke Verlag, Stuttgart, (196o).

15. König, K., Reindell, H. und Roskamm, H.: Über einen einfachen Ergometertest zur Ermittlung der Leistungsreserven des Herzens bei Musterungsuntersuchungen. Wehrmed., Darmstadt 4, 65, (1966).

16. Kopp, H. und Klein, B.: Ergometrische Untersuchungen zur Ermittlung der Belastbarkeit von Patienten zwei Monate nach Eintritt eines Myocardinfarktes. Beitr. zum XVI. Weltkongress für Sportmedizin, Hannover, (1966).

17. Lehmann, G.: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. Verlag von Urban u. Schwarzenberg, München - Berlin, Bd. I, 66 und 32o, (1961).

18. Marx, H.H., Zühlke, H.E. und Schütze, B.: Möglichkeiten und Grenzen der Ergometrie für klinische Fragestellungen. Zschr.Kreisl.forsch., Darmstadt 54, 1o54, (1965).

19. Mellerowicz, H.: Präventive Cardiologie. Medicus-Verlag, Berlin, (1961).

2o. Mellerowicz, H., Reindell, H., Hollmann, W., Mies, H. und Roskamm, H.: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. Zschr.Kreisl.forsch., Darmstadt 5o, 273, (1961).

21. Mellerowicz, H.: Ergometrie. Verlag Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin, (1962).

22. Mellerowicz, H., Roskamm, H., Hettinger, Th., Hollmann, W., Klaus, E.J., König, K., Mies, H., Reindell, H. und Stoboy, E.: Vorschläge zru Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. 2. Mitteilung. Zschr.Kreisl.forsch., Darmstadt 53, 856, (1964).

23. Mellerowicz, H.: I. Vorschlag zur internationalen Standardisierung der Ergometrie. Sportarzt 8, 4o5-4o8, (1966).

24. Mellerowicz, H., Galle, L.: Vergleichende Untersuchungen cardialer und pulmonaler Funktionen bei maximaler Arbeit am Ergometer im Stehen, Sitzen und Liegen. Sportarzt 1o, 332-338 und 359-366, (1962).

25. Mocellin, R., Rutenfranz, J.: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit (W_{17o}) im Kindesalter. Z. Kinderheilk. 1o8, 61-8o, (197o).

26. Müller E.A.: Methoden zur Diagnose der physischen Leistungsfähigkeit. Arbeitsmedizin 4, 79-83, (1964).

27. Roskamm, H., Reindell, H., Emmrich, J., Barmeyer, J., Kessler, M. und Novakovic, N.: Das EKG während dosierten Ergometerbelastung bei Normalpersonen und Infarktpatienten, seine Beziehung zu Herzgröße und Leistungsfähigkeit. Dtsch.Arch.klin.Med. 2o9, 331 (1964

28. Roskamm, H., König, K. und Reindell, H.: Derzeitige Kenntnisse ergometrischer Normalwerte. In: 1. Internat.Sem.Ergometrie, Institut für Leistungsmedizin, Berlin, (1966).

29. Rutenfranz, J.: Möglichkeiten und Grenzen der Funktionsprüfungen von Herz und Kreislauf im Kindesalter. Zschr.ärztl.Fortbild. 62, 931-938, (1968).

3o. Seliger, V., Buchberger, J., Pachlopnikova, I.: Zur Untersuchungsmethodik der physischen Arbeitskapazität des Menschen. (Tschechisch). Teor. Praxe tel. Vych 16, 73o-738, (1968).

31. Thorén, C.: Studien über die submaximale und maximale Arbeit bei Schulkindern. Zschr.ärztl.Fortbild. 62, 938-942, (1968).

32. Wahlund, H.: Determination of the physical working capacity. Acta med. scand. 132, suppl.215, (1948).

33. Zapfe, H.: Ergometrie in der Begutachtung. 1. Internationales Seminar für Ergometrie, Institut für Leistungsmedizin, Berlin, (1965.

34. Zydra, J. und Mellerowicz, H.: Ergometrie zur Funktionsdiagnostik des Kreislaufs. Zschr.ärztl.Fortbild., Berlin 53, 455, (1964)

35. Astrand, P.O. — Textbook for Work Physiology Mc. Graw-Hill Book Company (197o)

36. Astrand, I. — Aerobic Work Capacity in Men and Women with special Reference to Age. Stockholm (196o) Acta Physiologica Scandinavica Vol. 49 Supplementum 169

37. Fuchs, G. — Mathematik für Mediziner und Biologen Springer-Verlag, Berlin 1969

38. Buchberger, J. — Der Einfluß verschiedener Trainingsarten auf die Arbeitskapazität von Jugendlichen Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin 1, Bern (1971)

39. Stoboy, H. Maidorn K. — Die Abhängigkeit der Leistungspulssumme von der Rotationsenergie der Schwungmasse eines Ergometers

4o. Wagner, A. — Zeitschrift für Kreislaufforschung, Heft 6, Seite 597 - 6o3 Juni 1967 Steinkopff-Verlag, Darmstadt

41. Stoboy, H. — Persönliche Mitteilungen

42. Chintanaseri, Ch. — Persönliche Mitteilungen

43. Placheta,Z. Novak, A. — Einige Probleme der Funktionstests bei submaximaler Belastung, Medizin und Sport, Sonderdruck aus Heft 5/1971

44. Aldermann, R.B. — Res.Quart.4o (1969) 1-5

Lebenslauf

28.8.1944:	geboren in Prerow auf dem Darß
5.4.1951:	Einschulung in die Grundschule Berenbostel bei Hannover
16.4.1955:	Einschulung in die Lutherschule (Gymnasium) zu Hannover
5.1.1959:	Umschulung in die Domschule zu Schleswig
Februar 1965:	Reifeprüfung
Sommersemester 1965:	Studium der Naturwissenschaften an der Christian Albrecht Universität zu Kiel
1.1o.1965 - 3o.4.1967:	Grundwehrdienst
April 1967:	Studium der Humanmedizin an der F.U. Berlin
März 1968:	Vorphysikum
September 1969:	Physikum
März 1973:	Medizinisches Staatsexamen

B. Ladewig · Dissertationsdruck · 1 Berlin 12 · Pestalozzistraße 106
Tel.: 312 88 85 · 313 81 98